Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 3, Fall 2022, p. 327-337

Evaluation of Induction of Sethoxydim Tolerance in Maize (*Zea mays* L.) Using Salicylic Acid as a Safener

A. Shafeei[1], M. Rastgoo[2*], E. Izadi Darbandi[3], A. Ghanbari[4]

Received: 27-09-2020 Revised: 20-02-2021 Accepted: 10-03-2021 Available Online: 08-12-2022	**How to cite this article:** Shafeei, A., Rastgoo, M., Izadi Darbandi, E., & Ghanbari, A. (2022). Evaluation of Induction of Sethoxydim Tolerance in Maize (*Zea mays* L.) Using Salicylic Acid as a Safener. *Journal of Iranian Plant Protection Research 36*(3): 327-337. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JPP.2021.32832.0

Introduction

Herbicide safeners are chemical compounds used in combination with herbicides to make them "safer" that is, to reduce the effect of the herbicide on crop plants, and to improve selectivity between crop plants versus weed species being targeted by the herbicide. Herbicide safeners can be used to pretreat crop seeds prior to planting, or they can be sprayed on plants as a mixture with the herbicide. Salicylic acid (SA) and other salicylates are known to affect various physiological and biochemical activities of plants and may play a key role in regulating their growth and productivity. This hormone is synthesized by many plants and is accumulated in the plant tissues as the impact of unfavorable abiotic factors, contributing to the increase of plants resistance to stress. The aim of this study was to evaluate the efficacy of salicylic acid as a safener in corn tolerance to non-selective herbicide; sethoxydim, and the response of two weed species of johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) and junglerice (*Echinochloa colona* (L.) Link) to it.

Materials and methods

The effect of sethoxydim (0.5, 22.5, 45, 94, 187 and 375 grams of active ingredient per hectare), and salicylic acid (in concentrations of 0, 1 and 2 mM) as factorial experiment in a completely randomized design were investigated to evaluate the response of fresh weight of corn, johnsongrass and junglerice. Salicylic acid treatment was used in seed priming form also. Pre-treatment of salicylic acid was done three days before herbicide spraying. Spraying different doses of sethoxydim herbicide in a complete five-leaf stage, was done using a mobile rail sprayer (Matabi, Spain) equipped with a flat-fan nozzle (8002), a delivery of 220 L ha^{-1} and a spray pressure of 200 kPa. To investigate the changes in photosynthesis in the treated plants, chlorophyll fluorescence of the leaves was evaluated on the sixth day after application of herbicides by PEA model fluorometer. Three weeks after spraying the herbicide, the shoots of the plants were removed from the surface of the pot and their fresh weight was measured. Analysis of variance was performed using generalized linear models (GLM) in SAS 9.2 software environment. Before performing analysis of variance to determine the normality of the data from Anderson-Darling test in Minitab ver. 17 were used, and in cases of non-normal data, Box-cox two-way power transformation was used in the same software. Analysis of variance, was performed as a factorial experiment for each plant to investigate the effect of the herbicide dose of sethoxydim and the concentration of salicylic acid and their interaction. The trend of wet weight changes of different species under the influence of different amounts of herbicide sethoxydim was investigated using the four parameters log-logistic equation.

Results and Discussion

Dose-response curves of fresh weight of the treated plants showed that weeds were significantly affected by sethoxydim compared to corn. In all species, by increasing the concentration of salicylic acid, the ED_{50} increased. For all three levels of salicylic acid treatment, this parameter was the greatest in salicylic acid

1, 2, 3 and 4– M.Sc. Student, Professors and Associate Professor in Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.rastgoo@um.ac.ir)

treatment as seed priming than others, and the lowest values of this parameter were observed for jungle rice. The highest amount of ED_{50} was 210 gram of active ingredient per hectare for corn sown with 2 mM / L salicylic acid treatment, and the lowest value was 31.5 gram of active ingredient per hectare for non-salicylic acid treatment in jungle rice. Kutsky's curves for corn and weeds showed that Fluorescence chlorophyll was increased with the use of steroids herbicide, but salicylic acid treatment could reduce the rate of chlorophyll fluorescence, so that weed and corn after weeding the control without grass was observed at the lowest salicylic acid treatment (2 mM / L).

Conclusion

In general, the results of this experiment showed that under the influence of sethoxydim, all three species of maize, johnsongrass and junglerice showed a positive response to salicylic acid foliar application. Therefore, in order to use salicylic acid as a safener, its seed treatment in corn should be used. Overall, the results showed that salicylic acid can be used as a stress reducer due to the use of sethoxydim in narrow-leaved plants. But as a safener we cannot use it universally and foliar spraying, because there is no differentiation in the response of crops and weeds. Therefore, in the use of salicylic acid as an immunizer for the sethoxydim, its seed treatment will give better results.

Keywords: Graminicide, Fluorescence chlorophyll, Junglerice, Johnsongrass

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۳۳۷-۳۲۷

ارزیابی القای تحمل به ستوکسیدیم در ذرت (*Zea mays* L.) با استفاده از سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن‌ساز

ایوب شافعی[1]- مهدی راستگو[2]*- ابراهیم ایزدی دربندی[3]- علی قنبری[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

با هدف مطالعه کارایی سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن‌ساز در تحمل ذرت به علف‌کش غیرانتخابی ستوکسیدیم و نیز ارزیابی پاسخ دو گونه قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) و درنه (*Echinochloa colona* (L.) Link) به آن آزمایشی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد، اجرا شد. عامل اول دز علف‌کش ستوکسیدیم در مقادیر صفر، ۲۲/۵، ۴۵، ۹۴، ۱۸۷ و ۳۷۵ گرم ماده موثره در هکتار و عامل دوم نیز تیمار با سالیسیلیک اسید در غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار بود. نتایج نشان داد که علف‌هرز درنه نسبت به ذرت و قیاق، بیشتر تحت تأثیر دزهای علف‌کش ستوکسیدیم قرار گرفت. در همه گونه‌ها با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، دز موثر برای کاهش وزن تر به نصف بیشینه (ED_{50}) افزایش یافت. برای هر سه سطح تیمار سالیسیلیک اسید، مقدار این پارامتر در ذرت بذرمال شده توسط سالیسیلیک اسید بالاتر از سایر بود و کمترین مقدار این پارامتر نیز برای علف هرز درنه مشاهده شد. بالاترین مقدار ED_{50} برابر ۲۱۰ گرم ماده موثره در هکتار برای ذرت بذرمال شده با ۲ میلی‌مولار در لیتر از سالیسیلیک اسید، و کمترین مقدار آن برابر ۳۱/۵ گرم ماده موثره در هکتار برای درنه بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده شد. با کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم میزان کلروفیل فلورسنس افزایش یافت اما تیمار سالیسیلیک اسید توانست روند افزایشی میزان کلروفیل فلورسنس را کاهش دهد. نتایج نشان داد که تیمار بذرمال کردن سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن‌ساز برای علف‌کش ستوکسیدیم، نتیجه بهتری داد.

واژه‌های کلیدی: درنه، علف‌کش باریک برگ‌کش، قیاق، کلروفیل فلورسنس

مقدمه

ستوکسیدیم علف‌کشی پس‌رویشی انتخابی برای کنترل باریک‌برگ‌های یکساله و چندساله در گیاهان زراعی پهن برگ؛ عمدتاً چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و پیاز (*Allium cepa* L.) در ایران، متعلق به خانواده سیکلوهگزان دیون‌ها می‌باشد (WSSA, 2014). این علف‌کش موجب جلوگیری از بیوسنتز اسیدهای چرب، از طریق بازدارندگی عمل آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز (ACCase; EC 6.4.1.2)، می‌شود. این آنزیم با عمل کربوکسیلاسیون استیل کوآنزیم آ به مالونیل کوآنزیم آ، نقش کلیدی در بیوسنتز اسیدهای چرب دارد (Burton *et al.*, 1991). علاوه بر مختل کردن بیوسنتز اسیدهای چرب به عنوان جایگاه عمل[5]، گزارش شده است که بازدارنده‌های استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز موجب تولید بیش از اندازه رادیکال‌های آزاد و ترکیبات تنش‌زای اکسیداتیو به مانند پراکسید هیدروژن می‌شوند (Guo *et al.*, 2018 ; Saratovskikh, 2013 Romero-Puertas *et al.*, 2004). به تبع تولید این محصولات و نیز تجمع مالون‌دی‌آلدئید، پراکسیداسیون چربی‌ها و آسیب به غشاهای سلولی افزایش می‌یابد که نتیجه از بین رفتن سلول و تسریع پیری گیاه را به دنبال دارد (Draper and Hadley,1990).

ایمن‌سازها یا به عبارت دیگر پادزهر علف‌کش‌ها، عوامل شیمیایی هستند که تحمل گیاهان زراعی تک‌لپه‌ای را به علف‌کش‌های غیرانتخابی برای آنها بدون تحت تأثیر قرار دادن کارایی علف‌کش

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادان و دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.rastgoo@um.ac.ir
DOI: 10.22067/JPP.2021.32832.0

5- Site of Action

افزایش می‌دهند (Jablonkai, 2013). ایمن‌سازها مزیت‌های بسیاری را در برنامه مدیریت شیمیایی علف‌های هرز ایجاد کرده‌اند که از مهم‌ترین آنها کنترل انتخابی علف‌های هرز در گیاهان زراعی با خانواده گیاهی مشابه و استفاده از علف‌کش‌های غیرانتخابی برای کنترل انتخابی علف‌های هرز در گیاه زراعی می‌باشند (Davies and Caseley, 1999). بنابراین می‌تواند طیف علف‌کش‌های مورد استفاده در یک گیاه زراعی را افزایش دهد که از کلیدی‌ترین راه‌های مقابله با خطر مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها می‌باشد (Norsworthy *et al.*, 2012). ایمن‌سازها، بدون اینکه فعالیت علف‌کش را بر روی علف‌های هرز کاهش دهند، از صدمه علف‌کش‌ها بر روی گیاهان زراعی جلوگیری می‌کنند (VanEerd *et al.*, 2003). یکی از دستاوردها در زمینه ایمن‌سازها، پیش تیمارسازی گیاه زراعی توسط سالیسیلیک اسید قبل از کاربرد علف‌کش‌هاست (Radwan, 2012 و Wang *et al.*, 2016). سالیسیلیک اسید ($C_7H_6O_3$) یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید بوسیله سلول‌های ریشه تولید شده و نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد، نمو گیاه، جذب یون‌ها، فتوسنتز و جوانه زنی ایفا می‌کند. سالیسیلیک اسید یکی از ترکیبات است که به عنوان القا کننده پیام‌های دفاعی موجب فعال شدن ژن‌های تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود (Halim *et al.*, 2006). این ملکول از طریق تحریک آنزیم‌های پراکسیداز، موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیداتیو گیاه می‌گردد (Rao *et al.*, 1997 ; Radwan, 2012). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می‌تواند ظرفیت آنتی‌اکسیدان سلول‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد. تحقیقات نشان داده است که تیمار سالیسیلیک اسید از صدمات ناشی از کاربرد علف‌کش‌های پاراکوات در جو (*Hordeum vulgare* L.) (Ananieva *et al.*, 2002; Ananieva *et al.*, 2004)، کلتودیم در ذرت (*Zea mays* L.) (Radwan and Soltan, 2012) و کوئین‌کلراک در برنج (*Oryza sativa* L.) (Wang *et al.*, 2016) با افزایش متابولیسم آنها پیشگیری کرده است. در واقع سالیسیلیک اسید به عنوان یکی از تحریک کننده‌های بیان ژن‌های کد کننده آنزیم‌های گلوتامین-اس-ترانسفراز در گیاهان می‌باشد (Radwan and Soltan, 2012 ; Marrs, 1996)، و بدین وسیله احتمالاً متابولیسم علف‌کش‌های مذکور در پیکره گیاهان مورد مطالعه افزایش می‌یابد.

با اینکه در مدیریت علف‌های هرز ذرت، علف‌کش‌ها موثرترین و کاربردی‌ترین گزینه هستند، تا کنون از بازدارنده‌های ACCase علف‌کش اختصاصی برای آن ثبت نشده است. هرچند تعداد زیادی علف‌کش‌های اختصاصی دو منظوره از خانواده بازدارنده استولاکتات سنتاز (ALS) در ذرت ثبت شده است، با این حال مشکل علف‌های هرز باریک برگ در مزارع ذرت کشور همچنان پابرجاست (Zand *et al.*, 2013). بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن ساز در تحمل گیاه ذرت به علف‌کش غیرانتخابی ستوکسیدیم و نیز کنترل دو گونه قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) و درنه (*Echinochloa colona* (L.) Link) به عنوان مهم‌ترین علف‌های هرز باریک برگ مزراع ذرت کشور در شرایط تیمار شده با سالیسیلیک اسید اجرا شد.

مواد و روش‌ها

بذرهای بالغ و رسیده دو علف هرز قیاق و درنه در مرداد ماه سال ۱۳۹۱ به‌ترتیب از حومه اطراف شهر قزوین (واقع در طول جغرافیایی ´۹۹ °۴۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۲۵ °۳۶ شمالی؛ ارتفاع از سطح دریا ۱۲۹۲ متر) و کشت و صنعت کارون (واقع در طول جغرافیایی ´۷۱ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۸ °۳۲ شمالی؛ ارتفاع از سطح دریا ۸۳ متر) جمع‌آوری شدند. این بذرها تا شروع آزمایش در آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز دانشگاه فردوسی مشهد تحت شرایط هوای آزاد نگهداری شدند. برای گیاه ذرت نیز از بذر رقم سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد.

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در طول جغرافیایی ´۵۲ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۶ شمالی؛ ارتفاع از سطح دریا ۱۰۸۳ متر) انجام پذیرفت. تأثیر دو عامل دز علف‌کش ستوکسیدیم (صفر، ۲۲/۵، ۴۵، ۹۴، ۱۸۷ و ۳۷۵ گرم ماده موثره در هکتار) و تیمار با سالیسیلیک اسید (در غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار بر وزن تر قیاق، درنه و ذرت مورد بررسی قرار گرفت. تیمار سالیسیلیک اسید برای هر سه گیاه بصورت محلول‌پاشی برگی و برای ذرت بصورت بذرمال نیز انجام شد.

برای هر سه گونه گیاهی از کاشت مستقیم بذر استفاده شد. بذرهای قیاق و درنه پیش از کاشت تحت تأثیر تیمار یک دقیقه‌ای سولفوریک اسید ۹۵٪ (مرک، آلمان) و سپس آبشویی ۱۰ دقیقه‌ای با آب مقطر قرار گرفتند. بذرهای ذرت پیش از کاشت تحت تیمار هیپوکلریت سدیم ۵٪ به مدت پنج دقیقه و سپس به مدت ۳ دقیقه با آب مقطر آبشویی شدند. کاشت در گلدان‌های ۲ لیتری حاوی خاک، خاک برگ و ماسه بادی با نسبت ۱:۱:۱ انجام شد. مشخصات خاک مورد استفاده در گلدان ها در جدول ۱ ارایه شده است. محیط کشت گلدان پیش از شروع آزمایش به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا ضدعفونی شود. در هر گلدان ۸ عدد بذر کاشته شد،که در مرحله ۲ برگی تعداد گیاهچه‌ها در همه گلدان‌ها به ۴ عدد سالم کاهش یافت و با استفاده از محلول ۲٪ کود NPK 20-20-20+TE (زعیم، ایران) تغذیه شدند. در طول دوره آزمایش گلدان‌ها در دمای گلخانه بین ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و بدون محدودیت نوری در طول روز نگهدای شدند.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش
Table 1- Soil chemical properties of the experiment site

بافت خاک Soil texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)
سیلتی رسی لومی Silty clay loam	0.0365	3.1	306	0.53	7.61	2.420

جهت تهیه محلول ۱ و ۲ میلی‌مولار از سالیسیلیک اسید، به ترتیب مقدار ۰/۱۳۸ و ۰/۲۷۶ گرم از پودر سالیسیلیک اسید (مرک، آلمان) را در یک لیتر آب مقطر حل کردیم. پیش تیمار سالیسیلیک اسید سه روز پیش از پاشش علف‌کش و با استفاده از آبپاش دستی انجام شد. به منظور نهشت مناسب محلول بر روی گیاهان، به محلول‌های تهیه شده از سالیسیلیک اسید مقدار یک میلی‌لیتر در لیتر مویان سیتوگیت (پارس زرنگاران، ایران) اضافه شد. در رابطه با تیمار بذرمال ذرت، بذرها به مدت شش ساعت در محلول‌های تهیه شده از سالیسیلیک اسید خیسانده شدند و سپس بر روی کاغذ صافی در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) خشک شدند (Metwally *et al.*, 2003)، و سپس کشت شدند و دیگر گیاهچه‌ها تحت محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید قرار نگرفتند. برای تیمار شاهد سالیسیلیک اسید، بذرها در آب مقطر برای شش ساعت خیسانده شدند.

علف‌کش ستوکسیدیم (نابواس؛ فرمولاسیون OEC 12.5%) از شرکت گیاه تهیه گردید. پاشش دزهای مختلف از علف‌کش ستوکسیدیم در مرحله پنج برگی کامل، با استفاده از سمپاش متحرک ریلی (ماتابی، اسپانیا) مجهز به نازل بادبزنی معمولی با شماره ۸۰۰۲، خروجی ۲۲۰ لیتر در هکتار و فشار پاشش ۲۰۰ کیلوپاسکال واقع در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری از گلدان انجام شد. آب مورد استفاده جهت تهیه محلول علف‌کش، آب مقطر بود. همچنین در تیمار شاهد علف‌کش (دز صفر)، هیچگونه محلول‌پاشی صورت نگرفت. سه هفته پس از پاشش علف‌کش، اندام‌های هوایی گیاهان از روی سطح گلدان برداشت شدند و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. دلیل استفاده از وزن تر بجای وزن خشک در این آزمایش این بود که اولاً فقط وزن گیاه زنده می‌بایست اندازه‌گیری می‌شود و دوم اینکه بر اساس تحقیقات انجام شده گیاه تیمار شده با علف‌کش در هنگام خشک شدن در مقایسه با گیاه تیمار نشده، تلفات جرم بیشتری دارد که ناشی از آسیب به بافت‌های گیاه است و این موضوع سبب افزایش خطا در آزمایش در شرایط استفاده از وزن خشک خواهد شد (Ritz *et al.*, 2015). در مواقعی که کل سبزینه گیاه از بین رفته بود، وزن تر برابر با صفر در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی چگونگی تغییرات فتوسنتز در گیاهان تیمار شده، کلروفیل فلورسنس برگ در روز ششم پس از اعمال علف‌کش‌ها توسط دستگاه فلورومتر مدل PEA (هنساتک، انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور اندازه‌گیری‌ها بر روی برگ‌های قرار گرفته در شرایط تاریکی به مدت ۳۰ ثانیه در مرحله رشدی مشابه بصورت تابش نور با طول موج ۶۵۰ نانومتر و شدت ۳۰۰۰ میکرو مول فوتون بر متر مربع به مدت ۱۰ ثانیه انجام شد (Abbaspoor and Streibig, 2007).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته[1] (Proc GLM) در محیط نرم‌افزار SAS 9.2 انجام پذیرفت. این مدل قابلیت برش‌دهی برهمکنش متغیرهای مستقل را دارد (Littell *et al.*, 2006). قبل از انجام آنالیز واریانس جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون اندرسون- دارلینگ در نرم‌افزار Minitab ver. 17 استفاده شد. و درصورت عدم نرمال نبودن داده‌ها از تبدیل توانی و دو طرفه Box-cox در همین نرم‌افزار استفاده شد. از تجزیه واریانس به مانند آرایش فاکتورها در گلخانه به صورت آزمایش فاکتوریل برای هر گونه گیاهی، جهت بررسی تأثیر دز علف‌کش ستوکسیدیم و غلظت سالیسیلیک اسید و نیز برهمکنش آنها، انجام پذیرفت. روند تغییرات وزن تر گونه‌های مختلف تحت تأثیر مقادیر مختلف علف‌کش ستوکسیدیم با استفاده از معادله لوگ لجستیک چهار پارامتره مورد بررسی قرار گرفت (Ritz *et al.*, 2015; Kudsk, 2008):

$$Y = c + \frac{d-c}{1+exp\left(b\left(log(x)-log(Z)\right)\right)} \quad \text{(1) معادله}$$

در این معادله Y بیانگر مقدار وزن تر گونه گیاهی در دز x از علف‌کش ستوکسیدیم، x دز علف‌کش (گرم ماده موثره در هکتار)، c حداقل وزن تر گونه گیاهی (حد پایین منحنی)، d حداکثر وزن تر گونه گیاهی (حد بالای منحنی)، Z دزی از علف‌کش است که باعث

1- The procedure of generalized linear models

کاهش ۵۰ درصدی وزن تر بین حد بالا و پایین منحنی می‌شود یا همان ED_{50} و b شیب خط مماس بر منحنی در نقطه Z می‌باشد. مقادیر ED_{90} و ED_{10} نیز که بیانگر دز علف‌کش که باعث کاهش ۹۰ و ۱۰ درصدی وزن تر گیاهان می‌شود محاسبه شدند. نکته اینکه هنگامی که حد پایین منحنی (c) برابر با صفر نشود نیازی به توصیف پارامتر Z نمی‌باشد، زیرا این دز سبب کاهش مطلق ۵۰ درصدی در وزن تر نمی‌شود. به زبان دیگر کاهش وزن تر که در یک میزان کاربرد برابر با Z ایجاد می‌شود، مساوی $\frac{d+c}{2}$ است! نه $\frac{d}{2}$ که برابر با کاهش ۵۰ درصدی مطلق وزن تر است. همان‌طور که اشاره شد، پارامتر d میزان وزن تر تولیدی در شاهد تیمار نشده را نشان می‌دهد و نیاز است تا دزی که این میزان را تا نصف کاهش می‌دهد برآورده شود. این دز به عنوان "ED_{50} مطلق" نامیده می‌شود و به صورت AED_{50} نشان داده می‌شود، که می‌توان آن را با استفاده از پارامترهای معادله (۱) در قالب معادله (۲) برآورد کرد:

$$AED_{50} = \left(\frac{z^b d}{d-2c}\right)^{1/b} \qquad \text{معادله (۲)}$$

تجزیه رگرسیون غیر خطی و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار SigmaPlot 12.5 انجام شد. به منظور مقایسه مقادیر ED_{50} هر گیاه در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید نیز از محیط نرم‌افزاری R و بسته نرم‌افزاری drc استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر دز علف‌کش بر وزن تر ذرت و علف‌های هرز در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۲). سالیسیلیک اسید توانست تأثیر معنی‌داری بر وزن تر درنه، قیاق و وزن تر ذرت تیمار شده با آن بصورت بذرمال داشته باشد با این حال وزن تر ذرت تیمار شده بصورت محلول‌پاشی برگی تحت تأثیر این عامل قرار نگرفت (جدول ۲). تأثیر برهمکنش دز علف‌کش و سالیسیلیک اسید بر وزن تر نیز به استثنای مورد ذرت محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید، برای سایر گونه‌ها معنی‌دار شد.

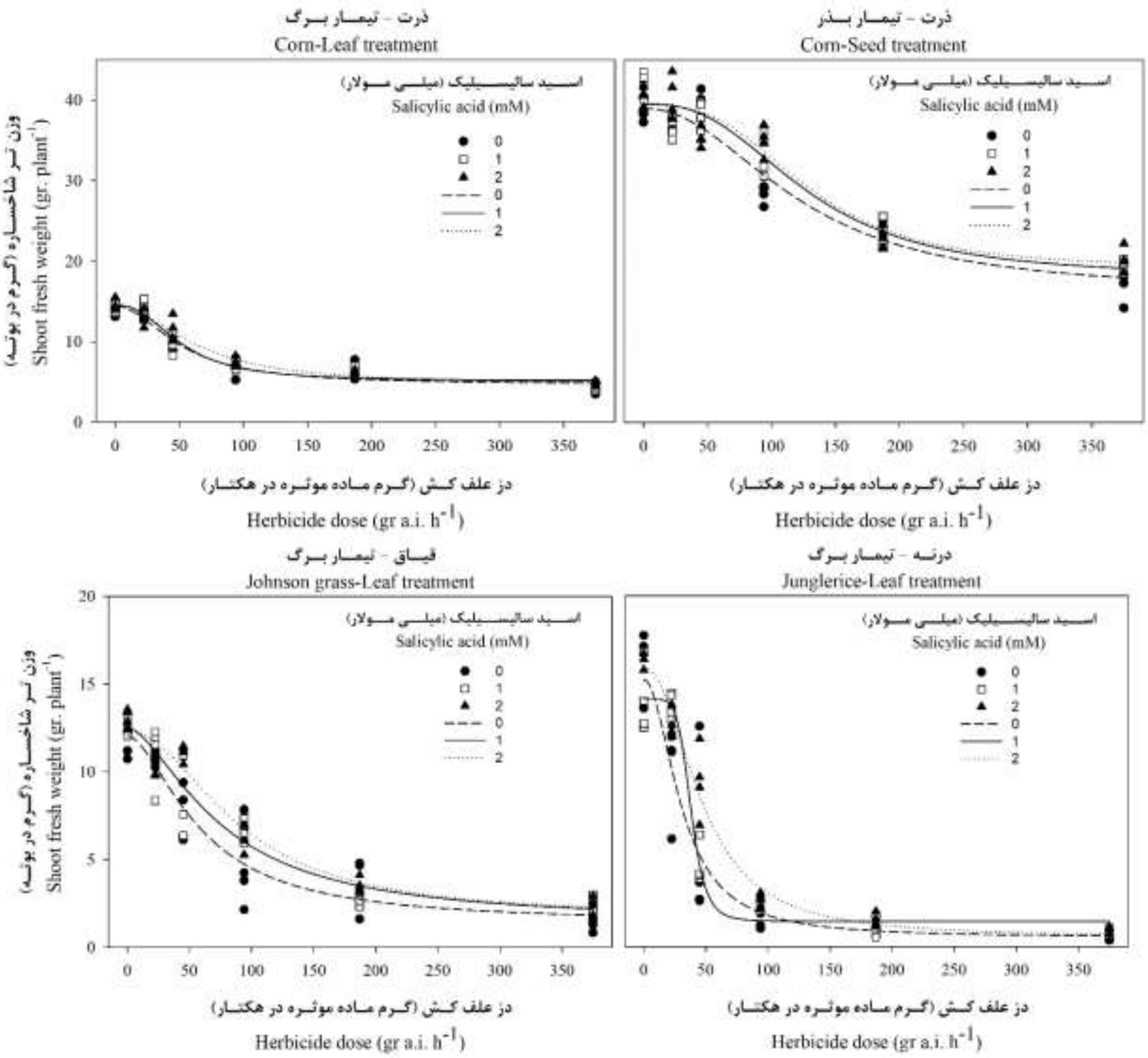
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دز علف کش ستوکسیدیم و غلظت سالیسیلیک اسید بر وزن تر ذرت، قیاق و درنه

Table 2- Analysis of variance (Mean squares) of the effect of sethoxydim dose and salicylic acid concentration on the fresh weight of corn, johnsongrass and junglerice

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	ذرت تیمار برگ Corn-leaf treatment VR†	ذرت تیمار برگ Corn-leaf treatment MS¥	ذرت تیمار بذر Corn-seed treatment VR	ذرت تیمار بذر Corn-seed treatment MS	قیاق تیمار برگ Johnson grass-leaf treatment VR	قیاق تیمار برگ Johnson grass-leaf treatment MS	درنه تیمار برگ Junglerice-leaf treatment VR	درنه تیمار برگ Junglerice-leaf treatment MS
دز علف‌کش Herbicide dose (D)	5	95.4	196.9**	92.8	915.8**	90.2	445.4**	89.8	211.2**
سالیسیلیک اسید Salicylic acid (S)	2	0.3	1.40NS	0.7	16.4**	1.2	14.5**	1.6	9.2**
D×S	10	1.0	1.05NS	3.7	18.2**	2.6	6.3*	2.5	2.9*
خطا Error	55	3.3	0.62	2.8	2.56	6.0	2.7	6.1	1.1
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		8.4		5.0		26.1		15.8	
برش‌دهی برهمکنش دز علف‌کش و سالیسیلیک اسید برای دزهای مختلف علف‌کش D×S interaction effect sliced by herbicide dose									
0	2		0.24NS		11.6*		4.6NS		1.5NS
22.5	2		1.48NS		17.9**		14.2**		0.6NS
45	2		3.52**		20.5**		26.1**		12.7**
94	2		0.59NS		47.1**		0.9NS		5.9*
187	2		0.20NS		1.5NS		0.2NS		1.1NS
375	2		0.60NS		9.1*		0.09NS		2.0NS

† نسبت از واریانس کل؛¥ میانگین مربعات؛ ns، * و ** به ترتیب تأثیر غیر معنی‌دار و تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

†proportion of total variance; ¥ mean squares; ns, * and **, non-significant effect and significant effect at the error probability level of 0.05 and 0.01, respectively.



شکل ۱- پاسخ وزن تر ذرت , سورگوم و درنه به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید

(نقاط داده‌های مشاهده شده و خطوط حاصل از برازش معادله (۱) می باشد).

Figure 1- Response of corn, johnsongrass and junglerice fresh weight to different sethoxydim dose at different concentrations of salicylic acid

(Points represent observed data and lines resulted from fitting to Equation (1)).

برش دهی این برهمکنش نشان داد که در ذرت تیمار شده با سالیسیلیک اسید بصورت بذرمال، بجز در سطح ۳۷۵ گرم ماده موثره در هکتار از ستوکسیدیم، کاربرد سالیسیلیک اسید توانست بطور معنی‌داری وزن تر ذرت را تحت تأثیر قرار دهد. محلول‌پاشی ذرت توسط سالیسیلیک اسید توانست تنها در سطح ۴۵ گرم ماده موثره در هکتار از ستوکسیدیم، وزن تر ذرت را بطور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد (جدول ۲).

منحنی‌های دز-پاسخ وزن تر گیاهان مورد مطالعه نشان داد که علف‌هرز درنه نسبت به ذرت و قیاق، بیشتر تحت تأثیر دزهای علف‌کش ستوکسیدیم قرار گرفت (شکل ۱) و مقادیر حد پایین منحنی برای این گونه پایین‌تر از علف‌های هرز مورد مطالعه بود (جدول ۳).

بطورکلی در همه گونه‌ها با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، دز موثر برای کاهش وزن تر به نصف بیشینه (ED_{50}) افزایش یافت. با این حال در ذرت محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید فقط سطح بالای سالیسیلیک اسید اختلاف معنی‌داری با شاهد عدم کاربرد سالیسیلیک اسید داشت. همچنین از نظر مقدار، برای هر سه سطح تیمار سالیسیلیک اسید، مقدار این پارامتر در ذرت بذرمال شده توسط سالیسیلیک اسید بالاتر از سایر شرایط بود و کمترین مقدار این پارامتر نیز برای علف هرز درنه مشاهده شد.

جدول ۳- پارامترها، ضرایب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای رگرسیون مدل لوگ لجستیک برازش داده‌شده به رابطه وزن تر ذرت ، قیاق و درنه و دز علف کش ستوکسیدیم

Table 3- Parameters, root mean square error (RMSE) and coefficients estimated for the log logistic model (Equation (1)) fitted to relationship between fresh weight of corn, johnsongrass and junglerice and sethoxydim dose

گونه Species	سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	پارامترها Parameters					
		C	d	b	AED_{50}	RMSE	R^2
ذرت- تیمار برگی Corn-leaf treatment	0	4.6^{*} (0.6)	14.3^{**} (0.5)	4.6^{*} (1.0)	64.2^{b}	1.0	0.93
	1	5.0^{**} (0.4)	14.5^{**} (0.5)	5.5^{*} (1.2)	63.5^{b}	1.0	0.94
	2	4.6^{*} (0.5)	14.4^{**} (0.4)	4.4^{*} (0.8)	80.0^{a}	0.8	0.95
ذرت- تیمار بذرمال Corn-seed treatment	0	16.1^{**} (2.6)	38.9^{**} (1.0)	5.0^{*} (1.4)	173.9^{c}	2.4	0.92
	1	18.0^{**} (2.0)	39.5^{**} (0.8)	6.1^{*} (1.6)	188.4^{b}	2.3	0.93
	2	19.0^{**} (1.7)	39.3^{**} (0.7)	6.9^{*} (1.8)	210.0^{a}	2.3	0.92
قیاق- تیمار برگی Johnson grass-leaf treatment	0	1.3^{ns} (1.0)	12.0^{**} (0.7)	3.9^{*} (1.1)	63.3^{c}	1.4	0.89
	1	1.4^{ns} (1.2)	12.5^{**} (0.6)	3.7^{*} (1.0)	81.0^{b}	1.3	0.91
	2	1.7^{ns} (0.8)	12.3^{**} (0.4)	4.6^{*} (1.0)	95.7^{a}	1.0	0.94
درنه- تیمار برگی Junglerice-leaf treatment	0	0.5^{ns} (1.0)	15.2^{**} (1.1)	4.6^{*} (1.6)	31.5^{c}	2.3	0.85
	1	1.4^{*} (0.3)	14.1^{**} (0.5)	14.9^{**} (6.4)	38.7^{b}	1.0	0.96
	2	0.5^{ns} (0.5)	15.8^{**} (0.5)	5.0^{**} (0.7)	47.9^{a}	1.0	0.97

مقادیر داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد. با توجه به محاسبه AED_{50} از روی پارامترها، مقدار خطای استاندارد آن گزارش نشد.

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد برای آزمون t .

مقادیر ED_{50} با حروف مشابه برای هر گیاه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

The values in the parentheses indicate the standard error. Due to the calculation of AED_{50} from the parameters, its standard error value was not reported.

ns, * and ** are respectively non-significant and significant at the 5 and 1 percent level for the t test.

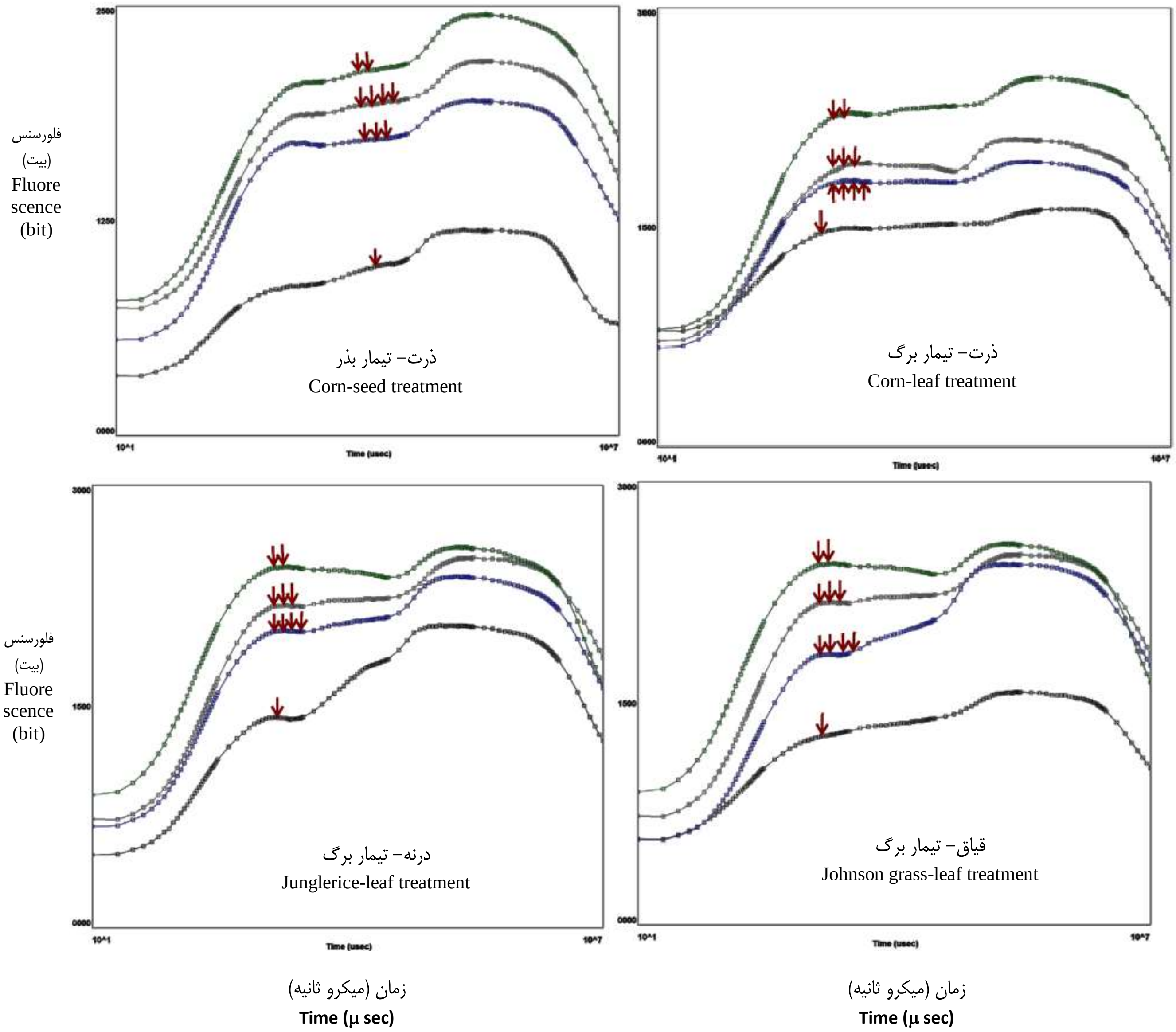
ED_{50} values with the same letters for each plant have no significant difference at the 5% level.

بالاترین مقدار ED_{50} برابر ۲۱۰ گرم ماده موثره در هکتار برای ذرت بذرمال شده با ۲ میلی‌مولار در لیتر از سالیسیلیک اسید، و کمترین مقدار آن برابر ۳۱/۵ گرم ماده موثره در هکتار برای درنه بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳).

منحنی‌های کاتسکی برای ذرت و علف‌های هرز نشان دادند که، با کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم میزان کلروفیل فلورسنس افزایش یافته است. اما تیمار سالیسیلیک اسید توانست روند افزایشی میزان کلروفیل فلورسنس را کاهش دهد بطوری‌که در علف‌های هرز و ذرت پس از تیمار شاهد بدون علف‌کش، کمترین میزان را تیمار سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار در لیتر شاهد بودیم (شکل ۲). منحنی کاتسکی تیمار ذرت با سالیسیلیک اسید به صورت بذرمال نسبت به تیمار محلول‌پاشی برگی، نشان داد که فلورسنس کلروفیل کمتر تحت تأثیر علف‌کش قرار گرفته است.

بنابراین می‌توان بیان کرد که در تیمار بذرمال سالیسیلیک اسید، فتوسیستم II ذرت به مقدار کمتری تحت تأثیر کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم قرار گرفته است و ذرت‌ها در این تیمار توانایی بازیابی سیستم فتوسنتزی بالاتری را تحت تأثیر علف‌کش پیدا کرده‌اند. روند تغییرات در فلورسنس کلروفیل دو گونه علف هرز قیاق و درنه تحت تأثیر علف‌کش ستوکسیدیم شبیه به یکدیگر بود (شکل ۲). رادوان و سلطان (Radwan and Soltan, 2012) نیز گزارش نمودند که برگ‌های ذرت پیش تیمار شده با سالیسیلیک اسید تحت تأثیر علف‌کش کلتودیم در مقایسه با بدون پیش تیمار سالیسیلیک اسید، دارای کلروفیل a بیشتری بودند. اثرات ایمن‌کنندگی سالیسیلیک اسید را آنانیوا و همکاران (Ananieva *et al.*, 2004) و شهرتاش و همکاران (Shahrtash *et al.*, 2011) در برابر علف‌کش پاراکوات گزارش نموده‌اند.

با توجه به نتایج وزن تر و فلورسنس کلروفیل گیاهان مود مطالعه، مشخص شد که علف‌کش ستوکسیدیم هر دو گیاه زراعی و علف‌های هرز را تحت تأثیر منفی خود قرار می‌دهد. این تأثیر منفی علف‌کش ناشی از افزایش فعالیت‌های متابولیسمی در جهت از بین رفتن سلول به مانند تنش‌های اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد هستند (Rutherford and Krieger-Liszkay, 2001). در نقطه مقابل آن، سیستم آنتی‌اکسیدانتی سلول گیاهی، اعم از سیستم آنزیمی و غیر آنزیمی، در مقابل تجمع بیش از اندازه این رادیکال‌های آزاد فعالیت می‌کند. کاربرد ایمن‌سازها به مانند سالیسیلیک اسید به عنوان یک تهییج کننده سیستم آنتی‌اکسیدانتی (Radwan, 2012؛ Wang *et al.*, 2016 ; Zhang *et al.*, 2018) نقش بازی می‌کند.



شکل ۲- تغییرات در کلروفیل فلورسنس a برگ گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در ششمین روز پس از کاربرد ستوکسیدیم

(یک، دو، سه و چهار پیکان بر روی منحنی به ترتیب نشان دهنده گیاهان شاهد، تیمارشده با علف‌کش ستوکسیدیم در غلظت‌های صفر، یک و دو میلی‌مولار از سالیسیلیک اسید)

Figure 2- Variations in the chlorophyll a fluorescence of plant leaves treated by salicylic acid in the sixth day after sethoxydim application

(One, two, three, and four arrows on curves show non-treated plants, and treated plants with sethoxydim in the 0, 1 and 2 mM concentrations of salicylic acid, respectively).

بیان شده است که ایمن‌سازها در ذرت، تولید RNA پیام رسان ژن‌های کد کننده In1-1 و In2-2 را به عنوان مهم‌ترین ژن‌های کدکننده پروتئین گلوتامین-اس-ترانسفراز را بطور قابل توجهی در ریشه و برگ ذرت افزایش می‌دهند (De Veylder *et al*., 1996 ; Jepson *et al*., 1994). افزایش تحمل گیاه و بالا بردن توان دفاعی آن در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده بوسیله فعال کردن مسیرهای انتقال پیام پاسخ به تنش به مانند تولید سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید به عنوان ابزاری توانمند و روشی مطمئن قابل استفاده می‌باشد (Wang *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که تحت تأثیر علف‌کش ستوکسیدیم هر سه گونه ذرت، قیاق و درنه پاسخ مثبتی به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نشان دادند. بنابراین با هدف کاربرد سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن‌ساز، باید از تیمار بذرمال آن در ذرت استفاده شود. ضمن اینکه این تیمار نسبت به تیمار محلول‌پاشی برگی تأثیر مثبت‌تری بر تحمل نسب به ستوکسیدیم در ذرت ایجاد کرد. در مورد بذرمال‌سازی گیاهان زراعی با سالیسیلیک اسید تاکنون گزارشی مطرح نشده است. ولی بذرمال کردن بذرهای گیاهان زراعی با مواد ایمن‌ساز دیگر (Hirase and Molin, 2001 Miller *et al.*, 1994) گزارش شده است. تیمار با علف‌کش‌ها باعث افزایش کلروفیل فلورسنس می‌شود (Hess, 2000; Park and Mallory-Smith, 2005). در این آزمایش نیز کاربرد علف‌کش ستوکسیدیم باعث افزایش میزان کلروفیل فلورسنس برگ ذرت و علف‌های هرز شد و پیش تیمار سالیسیلک اسید در هر دو غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار توانست از نوسانات بیشتر آن جلوگیری کند. در مجموع نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید می‌تواند به عنوان یک کاهنده تنش ناشی از کاربرد ستوکسیدیم در گیاهان باریک برگ مورد استفاده قرار بگیرد. اما به عنوان یک ایمن‌ساز نمی‌توانیم از آن بصورت سراسری و محلول‌پاشی برگی استفاده کنیم، چراکه تمایزی در پاسخ گیاه زراعی و علف‌های هرز ایجاد نمی‌شود. بنابراین در کاربرد سالیسیلیک اسید به عنوان ایمن‌ساز برای علف‌کش ستوکسیدیم، تیمار بذرمال کردن آن نتیجه بهتری خواهد داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای مهندس سلمان رحیمی برای کمک در تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abbaspoor, M., & Streibig, J.C. (2007). Monitoring the efficacy and metabolism of phenylcarbamates in sugar beet and black nightshade by chlorophyll fluorescence parameters. *Pest Management Science* 63: 576-585. https://doi.org/10.1002/ps.1382.
2. Ananieva, E.A., Alexieva, V.S., & Popova, L.P. (2002). Treatment with salicylic acid decreases the effects of paraquat on photosynthesis. *Journal of Plant Physiology* 159: 685-93. https://doi.org/10.1078/0176-1617-0706.
3. Ananieva, E.A., Christov, K.N., & Popova, L.P. (2004). Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to paraquat. *Journal of Plant Physiology 161*(3): 319-328. https://doi.org/10.1078/0176-1617-01022.
4. Burton, J.D., Gronwald, J.W., Keith, R.A., Somers, D.A., Gengenbach, B.G., & Wyse, D.L. (1991). Kinetics of inhibition of acetyl-coenzyme A carboxylase by sethoxydim and haloxyfop. *Pesticide Biochemistry and Physiology 39*(2): 100-109. https://doi.org/10.1016/0048-3575(91)90130-E.
5. Davies, J., & Caseley, J.C. (1999). Herbicide safeners: a review. *Pesticide Science* 55: 1043-1058. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199911)55:11<1043::AID-PS60>3.0.CO;2-L.
6. De Veylder, L., Van Montagu, M., & Inze, D. (1997). Herbicide safener-inducible gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology 38*(5): 568-577. https://doi.org/ 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029206.
7. Draper, H.H., & Hadley, M. (1990). *Malondialdehyde determination as index of lipid Peroxidation*. In Methods in enzymology (Vol. 186, pp. 421-431). Academic press. https://doi.org/10.1016/0076-6879(90)86135-i.
8. Guo, M.J., Wang, Y.G., Dong, S.Q., Wen, Y.Y., Song, X.E., & Guo, P.Y. (2018). Photochemical changes and oxidative damage in four foxtail millet varieties following exposure to sethoxydim. *Photosynthetica 56*(3): 820-831. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0734-z.
9. Halim, V.A., Vess, A., Scheel, D., & Rosahl, S. (2006). The role of salicylic acid and jasmonic acid in pathogen defence. *Plant Biology* 8: 307-13. https://doi.org/10.1055/s-2006-924025.
10. Hess, F.D. (2000). Light- dependent herbicides: an overview. *Weed Science* 48: 160-170. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0160:LDHAO]2.0.CO;2.
11. Hirase, K., & Molin, W.T. (2001). Characterization of cysteine synthase in *Echinochloa crus-galli* and its inhibition by substrate analogues. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 69: 189-197. https://doi.org/ 10.4236/ajps.2021.125052.
12. Jablonkai, I. (2013). Herbicide safeners: Effective tools to improve herbicide selectivity. In *Herbicides-Current Research and Case Studies in Use*. InTech. https://doi.org/10.5772/55168.
13. Jepson, I., Lay, V.J., Holt, D.C., Bright, S.W., & Greenland, A.J. (1994). Cloning and characterization of maize herbicide safener-induced cDNAs encoding subunits of glutathione S-transferase isoforms I, II and IV. *Plant Molecular Biology 26*(6): 1855-1866. https://doi.org/10.1007/BF00019498.
14. Kudsk, P. (2008). Optimizing herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of

herbicides. *Environmentalist* 28: 49-55. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9041-8.
15. Littell, R.C., Stroup, W.W., Milliken, G.A., Wolfinger, R.D., & Schabenberger, O. (2006). *SAS for mixed models*. SAS institute. https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2006.00455_9.x.
16. Marrs, K.A. (1996). The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants. *Annual Review of Plant Biology 47*(1): 127-158. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.127.
17. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., & Dietz, K.J. (2003). Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Physiology and Biochemistry of Plant* 132: 272-281. https://doi.org/10.1104/pp.102.018457.
18. Miller, K.D., Irzyk, G.P., & Fuerst, E.P. (1994). Benoxacor treatment increases glutathione s-transferase activity in suspension cultures of *Zea mays*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 48: 123-134. https://doi.org/10.1006/pest.1994.1013.
19. Norsworthy, J.K., Ward, S.M., Shaw, D.R., Llewellyn, R.S., Nichols, R.L., Webster, T.M., Bradley, K.W., Frisvold, G., Powles, S.B., Burgos, N.R., & Witt, W.W. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science* 60: 31-62. https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1.
20. Park, K.W., & Mallory- Smith, C.A. (2005). Multiple herbicide resistance in downy brome (*Bromus tectrum*) and its impact on fitness. *Weed Science* 53: 780-786. https://doi.org/10.1614/WS-05-006R1.1.
21. Radwan, D.E.M. (2012). Salicylic acid induced alleviation of oxidative stress caused by clethodim in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Pesticide Biochemistry and Physiology 102*(2): 182-188. https://doi.org/ 10.1016/j.pestbp.2012.01.002.
22. Radwan, D.E.M., & Soltan, D.M. (2012). The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. *Photosynthetica* 50: 171–179. https://doi.org/10.1007/s11099-012-0016-8.
23. Rao, M.V., Paliyath, G., Ormrod, D.P., Murr, D.P., & Watkins, C.B. (1997). Influence of salicylic acid on H_2O_2 production, oxidative stress, and H_2O_2-metabolizing enzymes (salicylic acid-mediated oxidative damage requires H_2O_2). *Plant Physiology* 115: 137-149. https://doi.org/10.1104/pp.115.1.137.
24. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PloS One 10*(12): P.e0146021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021.
25. Romero-Puertas, M.C., McCarthy, I., Gómez, M., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Del Rio, L.A., & Palma, J.M. (2004). Reactive oxygen species-mediated enzymatic systems involved in the oxidative action of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid. *Plant, Cell & Environment* 27(9): 1135-1148. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01219.x.
26. Rutherford, A.W., & Krieger-Liszkay, A. (2001). Herbicide-induced oxidative stress in photosystem II. *Trends in Biochemical Sciences* 26(11): 648-653. https://doi.org/10.1016/s0968-0004(01)01953-3.
27. Saratovskikh, E.A. (2013). Kinetics & Mechanism of Inhibition of Oxidation Enzymes by Herbicides. In *Herbicides-Advances in Research*. InTech. https://doi.org/10.5772/54679.
28. Shahrtash, M., Mohsenzadeh, S., & Mohabatkar, H. (2011). Salicylic acid alleviates paraquat oxidative damage in maize seedling. *Asian Journal of Experimental Biology Science* 2: 377-382.
29. VanEerd, L.L., Hoagland, R.E., Zablotowicz, R.M., & Hal, J.C. (2003). Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Science* 51: 472-495. http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0472:PMIPAM]2.0.CO;2.
30. Wang, J., Lv, M., Islam, F., Gill, R.A., Yang, C., Ali, B., Yan, G. & Zhou, W. (2016). Salicylic acid mediates antioxidant defense system and ABA pathway related gene expression in *Oryza sativa* against quinclorac toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 133: 146-156. https://doi.org/ 10.1016/j.ecoenv.2016.07.002.
31. WSSA. (2014). Herbicide handbook. *Weed Society of America*. Champaign, Illinois. 500 pp.
32. Zand E., M. A. Baghestani, N. Nezamabadi & P. Shimi. (2013). Herbicides and the Most Important Weeds of Iran. 4th Edition, *Academic Publishing Center Press*, Tehran. (In Persian)
33. Zhang, J.J., Wang, Y.K., Zhou, J.H., Xie, F., Guo, Q.N., Lu, F.F., Jin, S.F., Zhu, H.M. & Yang, H. (2018). Reduced phytotoxicity of propazine on wheat, maize and rapeseed by salicylic acid. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 162: 42-50. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.068.